



射阳港粉砂质高回淤航道水文泥沙特征分析

石磊¹, 曾小军², 莫志芳¹, 路川藤³, 朱显博³

(1. 中交广航疏浚有限公司, 广东 广州 510000;

2. 江苏盐城港项目建设管理咨询有限公司, 江苏 盐城 224000; 3. 南京水利科学研究所, 江苏 南京 210029)

摘要: 为研究射阳港航道竣工后的水沙特征, 开展射阳港航道现场水文测验。根据水文测验结果可知, 射阳港航道口门外侧流速大于口门内; 双导堤内航道处落急流速表层大、底层小, 涨急流速 $0.4H\sim 0.8H$ 水层大, 表层最小, 中上层水体余流方向为落潮, 中下层水体为涨潮。航道口门外含沙量明显大于口门内, 航道内小潮期中上层水体落潮平均含沙量大于涨潮, 中下层水体涨潮大于落潮, 大潮期落潮平均含沙量大都大于涨潮。航道内大小潮底层涨潮单宽输沙率均大于落潮, 净输沙均由航道口门向港池方向, 小潮期净输沙率大于大潮。底层水流自航道口门运动至港池需 $4.5\sim 6.5$ h, 一个潮周期内, 外海泥沙能够从航道口门运输至航道沿程, 直至港池, 为航道港池的泥沙淤积提供了沙源。

关键词: 射阳港; 水文观测; 潮流; 含沙量; 输沙率

中图分类号: U656.5

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2025)04-0127-08

Analysis of hydrological and sediment characteristics of high-siltation channel in sandy silt of Sheyang Port

SHI Lei¹, ZENG Xiaojun², MO Zhifang¹, LU Chuanteng³, ZHU Xianbo³

(1. CCCG Guanghang Dredging Co., Ltd., Guangzhou 510000, China;

2. Jiangsu Yancheng Port Project Construction Management Consulting Co., Ltd., Yancheng 224000, China;

3. Nanjing Hydraulic Research Institute, Nanjing 210029, China)

Abstract: To study the water and sediment characteristics of the completed Sheyang Port waterway, on-site hydrological tests are conducted. According to the hydrological test results, the flow velocity outside the entrance of the Sheyang Port waterway is greater than that inside the entrance. At the inner channel of the double guide embankment, the rapid flow velocity is higher in the surface layer and lower in the bottom layer, while the rapid flow velocity in the water layer is higher than that in the $0.4H\sim 0.8H$ range. The surface layer is the smallest, and the residual flow direction in the middle and upper layers of water is falling tide, while the middle and lower layers of water is rising tide. The sediment concentration outside the entrance of the waterway is significantly higher than inside. In the channel, during the low tide period, the average sediment concentration of the upper and middle water bodies of the falling tide is greater than that of the rising tide, while the middle and lower water bodies of the rising tide is greater. and during the high tide period, the average sediment concentration of the falling tide is mostly greater than that of the rising tide. The single width sediment transport rate at both high and low tide levels in the channel is greater than that at low tide, and the net sediment transport is from the channel entrance towards the harbor. The net sediment transport rate during the low tide period is greater than that during the high tide period. It takes about 4.5 to 6.5 hours for the bottom water flow to move from the entrance of the waterway to the harbor. Within a tidal cycle, the sediment from the outer sea can be transported from the entrance of the waterway to the harbor, providing a source of sediment for the sedimentation of the waterway and harbor.

Keywords: Sheyang Port; hydrological observation; tidal current; sediment concentration; sediment transport rate

收稿日期: 2024-05-27

作者简介: 石磊 (1985—), 男, 高级工程师, 从事港口与航道工程施工管理。

1 工程概况

射阳港是江苏沿海重要的出海通道之一，1978 年建港，上游连接射阳河、黄沙港等水系，可与通榆运河、京杭大运河相连，形成南达长江、北抵天津、辐射江淮的“河海联运”水系^[1]。2011 年射阳港航道工程实施，航道水深 10.5~11.3 m，可满足 3.5 万吨级船舶通航^[2]。2016 年航道开挖后，受海域水沙环境影响，港口与航道回淤严重^[3-4]，港口及航道年平均淤积厚度接近 5 m。严重的航道回淤给航道维护带来极大的困难^[5]，根据港区规划，射阳港航道后期计划升级至 5 万吨级航道^[6-7]。射阳港位于南黄海辐射沙洲以北，潮差大，水流强，水沙条件复杂，前人针对射阳港航道水文泥沙条件及港池回淤原因已开展部分研究，但近年来针对航道水域的水文测验成果较少，针对航道水沙的深入分析尚存在一定的不足。

2016 年射阳港航道维护疏浚完成，2023 年射阳港航道开展维护疏浚，2023 年 11 月—2024 年 1 月通过验收。为进一步深入研究深水条件下的航道水沙运动特征，于 2024 年 3 月 6—12 日开展射阳港航道大小潮现场水文测验，根据水文测验成果深入研究射阳港水沙运动规律，分析航道回淤原因，以期射阳港发展以及港口航道维护提供技术支撑和借鉴。

射阳港航道采样点位置见图 1，2016 年 9 月—2017 年 9 月航道淤积分布见图 2。



图 1 射阳港航道采样点位置

Fig. 1 Locations of sampling points in channel of Sheyang Port

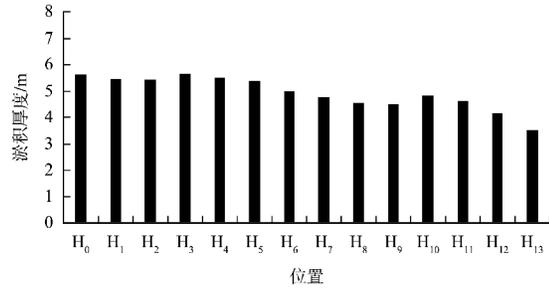


图 2 射阳港航道淤积分布

Fig. 2 Sedimentation distribution in channel of Sheyang Port

2 基础数据

射阳港潮汐为正规半日潮，潮汐强度中等，平均潮差 2.27 m^[8]，潮波主要受黄海潮波系统控制，近岸潮流以往复流为主。射阳港海域含沙量较大，根据往年研究成果，该水域底层最大含沙量可达 5.0 kg/m³，近岸沉积物以粉砂、砂质粉砂及粉砂质砂为主，粉砂质砂主要分布在南导堤南侧，导堤口以砂质粉砂为主，中值粒径平均值为 0.028 mm^[9]。苏北近岸为淤泥质海岸，水下地形坡度缓，岸线距离深水区远，射阳港航道通过开挖近岸浅滩与外海深水区相连，为保障船舶的安全通航，减少航道的泥沙淤积，在航道两侧构筑了防波堤。

2023 年 11 月—2024 年 1 月，射阳港 3.5 万吨级港池航道维护疏浚工程验收，航道底高程 -11.0~-10.5 m (理论基面)。为研究航道浚深后的水文泥沙条件，开展射阳港航道水文测验工作，共布置 4 条垂线，采用 6 点法监测潮流、泥沙，同时在电厂码头附近设置 1 个临时潮位观测站。水文观测时间小潮期为 2024-03-06T18:00:00—2024-03-07T21:00:00，潮差约为 1.83 m，大潮期为 2024-03-11T09:00:00—2024-03-12T12:00:00，潮差约为 3.13 m，见图 3。

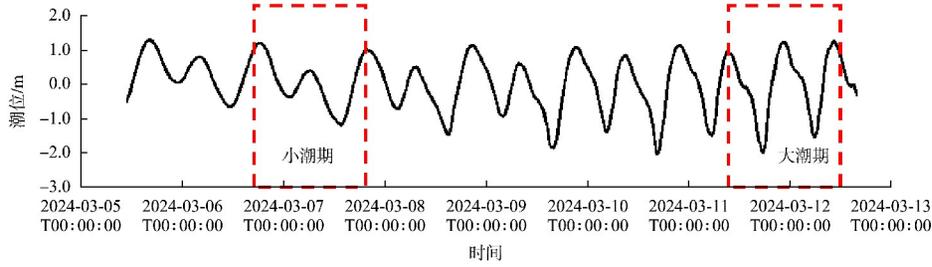


图 3 临时潮位站潮位过程

Fig. 3 Tide level process at temporary tide gauge station

2 分析方法

根据水文测验成果分析射阳港航道附近水域的水沙特征, 共 4 条垂线, 编号为 $C_1 \sim C_4$ 。水动力分析内容包括涨落急流速、欧拉余流、Stokes 漂流^[10]等, 泥沙分析内容包括涨落潮平均含沙量、单宽输沙率等。

欧拉余流指去除周期性天文潮后的平均流引起的平均输移, 其大小和方向主要取决于潮周期内涨落潮流速强度和历时; Stokes 漂流表征水体的净漂移量, 其数值大小直接体现了潮周期内水位变化量与流速变化量的相关性, 二者之和为拉格朗日余流。欧拉余流和斯托克斯漂流计算公式为:

$$U_E = \frac{1}{T} \int_{t_0}^{t_0+T} \bar{u}_i dt \quad (1)$$

$$U_S = \frac{1}{Th_0} \int_{t_0}^{t_0+T} h_i \bar{u}_i dt \quad (2)$$

单宽输沙量计算公式为:

$$Q_f = \int_{t_1}^{t_1+T_f} h_i \bar{u}_i S_i dt \quad (3)$$

$$Q_e = \int_{t_2}^{t_2+T_e} h_i \bar{u}_i S_i dt \quad (4)$$

$$Q_j = |Q_f - Q_e| \quad (5)$$

式中: U_E 为欧拉余流, m/s; U_S 为 Stokes 漂流, m/s; \bar{u}_i 为 t 时刻流速, m/s; h_0 为潮周期平均分层水深, m; t_0 、 T 分别为计算起始时间和计算潮周期时间, s, T 取 25 h; t 为时间, s; Q_f 为涨潮单宽输沙量, kg/(d·m); Q_e 为落潮单宽输沙量, kg/(d·m); Q_j 为单宽净输沙量, kg/(d·m); S_i 为 t 时刻含沙量, kg/m³; h_i 为分层水深, m; t_1 、 T_f 为涨潮起始时间和历时, s; t_2 、 T_e 为落潮起始时间和历时, s。

3 结果分析

3.1 水流特征值

射阳港航道受南北两侧导堤的约束作用, 导堤内部 $C_2 \sim C_4$ 点的水流呈现出明显的往复流特征 (图 4), 航道口门外侧 C_1 点水流亦具有明显的往复流特征, C_1 点与受导堤约束的 $C_2 \sim C_4$ 点涨落潮流向近乎呈垂直状态, 大小潮水流流态分布趋势一致。从流速矢量分布看, 航道口门外侧 C_1 点水流流速明显大于 $C_2 \sim C_4$ 点。

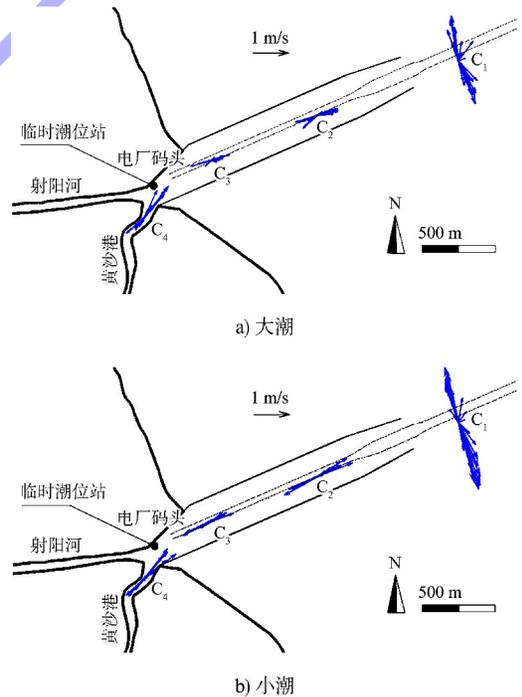
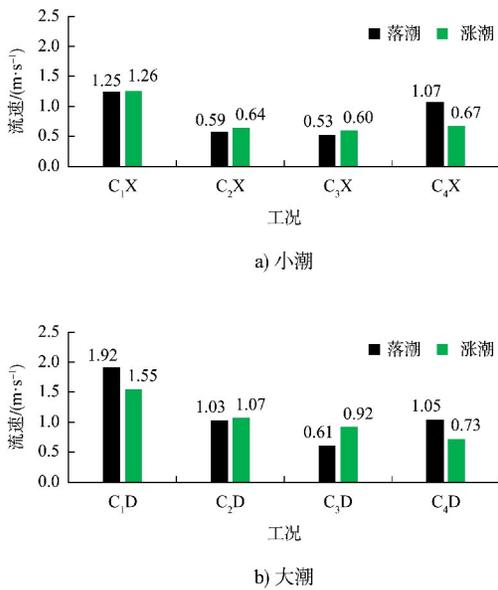


图 4 各垂线平均流速矢量分布

Fig. 4 Distribution of average velocity vector for each vertical line

根据水文测验数据统计的垂线平均涨落急流速分布见图 5, 可以看到, 无论大潮还是小潮, C_1 点的涨落急流速明显大于 $C_2 \sim C_4$ 点。大潮期 C_1

点落急流速大于涨急，落急流速可达 1.92 m/s，小潮期 C₁ 点涨落急流速差异较小，约为 1.25 m/s。对于口门内的测点，C₂、C₃ 点由于航道周边地形分布较为接近，两点大小潮涨落急流速基本相当（C₃ 点落潮流速偏小），大潮期流速基本在 1.0 m/s 左右，小潮期在 0.60 m/s 左右。C₄ 点位于黄沙港口门处，落急流速明显大于涨急，大小潮差异相对较小，落潮流速在 1.05 m/s 左右，涨潮流速在 0.70 m/s 左右。



注：“D”表示大潮，“X”表示小潮，如 C₁D 为 C₁ 点大潮。

图 5 各垂线平均涨落急流速分布
Fig. 5 Distribution of average flood and ebb velocities for each vertical line

表 1 统计了不同水层的涨落急流速值，航道口门外 C₁ 点涨落急流速表层大、底层小，规律性

较为明显，小潮期底、表层涨落急流速比分别为 0.62、0.78，大潮期为 0.55、0.58，说明大潮期表、底层流速梯度明显大于小潮期。导堤内部 C₂~C₄ 点的各水层涨落急流速垂向分布差异较大，对于落急流速，仍具有表层大、底层小的特点，C₂、C₃ 点涨落急流速表、底层之比较为接近，为 0.47~0.57，即表层落急流速约为底层的 2 倍。对于涨急流速，C₂、C₃ 点大潮期和小潮期的表层流速总体上比底层小，涨急最大流速基本发生在 0.4H~0.8H (H 为水深) 处的水体上，这可能与潮波反射或者异重流有关，外海涨潮流进入导堤内部直至电厂码头后，射阳河和黄冈沙过流能力突然减小，致使导堤内部形成类似半封闭港池水域，进而发生潮波反射，造成导堤内部水流震荡 (图 6)，因此涨潮流垂向分布规律性较差。黄沙港口门处 C₄ 点的底、表层涨落急流速比大于 0.70，差异相对较小。

表 2 统计了各垂线的欧拉余流和 Stokes 漂流值，可以看到，各垂线欧拉余流和 Stokes 漂流值及方向基本一致。以欧拉余流为例，余流值垂向上总体呈现出表层大、底层小的特点，表层余流各垂线大小潮在 0.25~0.30 m/s，底层余流值基本在 0.05~0.10 m/s。对于航道口门外 C₁ 点，小潮期余流方向各水层均为落潮，大潮期为涨潮，大小潮相反。对于导堤内部的 C₂、C₃ 点，中上层水体余流方向为落潮方向，中下层水体为涨潮；黄沙港口门处的 C₄ 点，各水层余流方向均为落潮。Stokes 漂流值与欧拉余流值分布趋势基本一致。

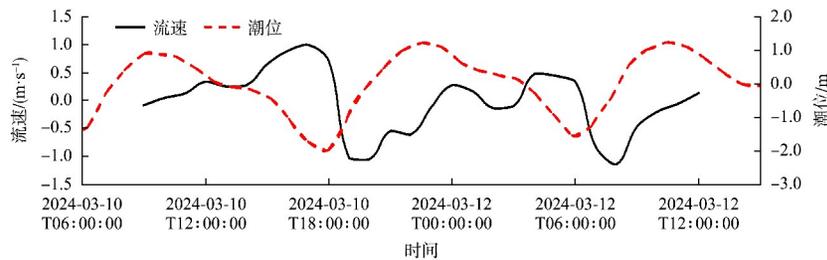


图 6 C₂ 点垂线平均潮流过程
Fig. 6 Average tidal current process at vertical line of point C₂

表 1 各垂线不同水层涨落急流速值
Tab. 1 Flood and ebb velocities of different water layers at each vertical line

工况		流速/(m·s ⁻¹)						1.0H 与 0.0H 的比值
		0.0H(表)	0.2H	0.4H	0.6H	0.8H	1.0H(底)	
C ₁ X	落急	1.42	1.33	1.32	1.30	1.26	1.11	0.78
	涨急	1.62	1.41	1.30	1.19	1.09	1.01	0.62
C ₂ X	落急	1.07	0.87	0.76	0.61	0.55	0.50	0.47
	涨急	0.30	0.51	0.74	0.79	0.80	0.76	2.53
C ₃ X	落急	0.80	0.65	0.63	0.53	0.46	0.43	0.54
	涨急	0.18	0.63	0.87	0.75	0.58	0.42	2.33
C ₄ X	落急	1.15	1.12	1.11	1.03	1.02	0.96	0.83
	涨急	0.63	0.62	0.61	0.65	0.77	0.79	1.25
C ₁ D	落急	2.43	2.29	2.06	1.80	1.58	1.40	0.58
	涨急	1.95	1.91	1.62	1.46	1.28	1.08	0.55
C ₂ D	落急	1.22	1.15	1.08	1.00	0.95	0.70	0.57
	涨急	1.02	1.14	1.12	1.13	1.06	0.94	0.92
C ₃ D	落急	0.88	0.69	0.64	0.57	0.52	0.50	0.57
	涨急	0.40	0.58	1.01	1.31	1.33	1.11	2.77
C ₄ D	落急	1.26	1.14	1.13	1.03	0.94	0.88	0.70
	涨急	0.79	0.78	0.78	0.73	0.73	0.62	0.78

表 2 各垂线不同水层欧拉余流和 Stokes 漂流值
Tab. 2 Euler residual and Stokes drift values of different water layers at each vertical line m/s

工况	欧拉余流						Stokes 漂流																	
	0.0H(表)		0.2H		0.4H		0.6H		0.8H		1.0H(底)		0.0H(表)		0.2H		0.4H		0.6H		0.8H		1.0H(底)	
	大小	方向	大小	方向	大小	方向	大小	方向	大小	方向	大小	方向	大小	方向	大小	方向	大小	方向	大小	方向	大小	方向	大小	方向
C ₁ X	0.26	落	0.19	落	0.19	落	0.14	落	0.09	涨	0.06	涨	0.26	落	0.20	落	0.19	落	0.13	落	0.08	涨	0.05	涨
C ₂ X	0.29	落	0.12	落	0.05	落	0.08	涨	0.12	涨	0.11	涨	0.27	落	0.11	落	0.05	涨	0.09	涨	0.13	涨	0.11	涨
C ₃ X	0.28	落	0.13	落	0.04	落	0.01	落	0.02	涨	0.03	涨	0.27	落	0.12	落	0.03	落	0.00	落	0.02	涨	0.03	涨
C ₄ X	0.27	落	0.21	落	0.16	落	0.13	落	0.10	落	0.07	涨	0.24	落	0.18	落	0.13	落	0.10	落	0.07	落	0.05	涨
C ₁ D	0.30	涨	0.23	涨	0.16	涨	0.10	涨	0.08	涨	0.09	涨	0.33	涨	0.27	涨	0.19	涨	0.14	涨	0.11	涨	0.12	涨
C ₂ D	0.29	落	0.15	落	0.05	落	0.01	涨	0.04	涨	0.05	涨	0.27	落	0.13	落	0.03	落	0.03	涨	0.05	涨	0.06	涨
C ₃ D	0.20	落	0.09	落	0.02	涨	0.07	涨	0.07	涨	0.06	涨	0.19	落	0.08	落	0.03	涨	0.08	涨	0.08	涨	0.07	涨
C ₄ D	0.28	落	0.24	落	0.20	落	0.15	落	0.10	落	0.04	落	0.24	落	0.20	落	0.16	落	0.11	落	0.06	落	0.01	落

3.2 含沙量特征

苏北射阳海域潮差大, 潮流强, 同时由于淤泥质海岸坡度缓, 近岸水深相对较浅, 因此在水流的作用下, 水体含沙量高, 见图 7。航道口门外侧 C₁ 点大潮垂线涨潮平均含沙量可达 1.80 kg/m³, 落潮为 1.95 kg/m³, 小潮期约为 1.0 kg/m³, 大潮期含沙量明显大于小潮期。导堤内 C₂、C₃ 点的含沙量低于外侧开阔海域, 主要因为导堤内部流速相对

较低, 大潮期垂线涨落潮平均含沙量为 0.5 kg/m³ 左右, 小潮期涨潮平均含沙量明显高于落潮, 涨潮平均含沙量为 0.5~0.6 kg/m³, 而落潮平均含沙量仅为 0.3 kg/m³ 左右。黄沙港口门处 C₄ 点大潮期涨落潮平均含沙量在 0.87~1.40 kg/m³ 之间, 小潮期在 0.20~0.63 kg/m³ 之间。从垂线平均含沙量分布看, 航道口门外含沙量明显大于口门内。

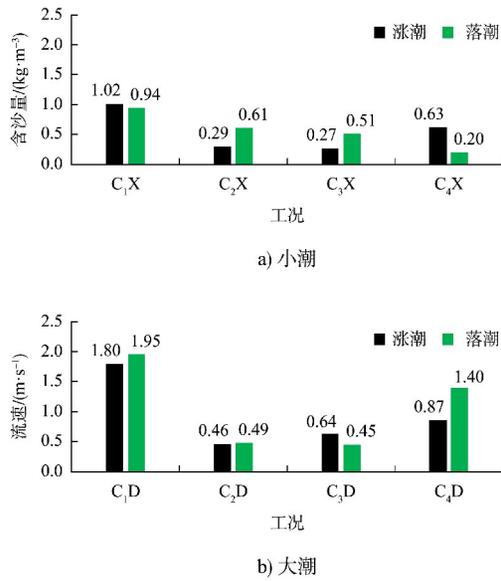


图 7 各垂线平均含沙量分布
Fig. 7 Distribution of average sediment concentration at each vertical line

表 3 为各垂线不同水层的涨落潮平均含沙量, 可以看到各垂线均为表层含沙量小、底层含沙量大, 从涨落潮底、表层平均含沙量的比值看, 涨潮期底表层含沙量差异整体大于落潮; 从大小潮底、表层平均含沙量的比值看, 大部分垂线小潮期大于大潮期, 说明小潮期自水面至水底含沙量梯度大于大潮。导堤内 C₂、C₃ 点, 小潮期, 水体中上层 (0.0H、0.2H) 落潮平均含沙量大于涨潮, 而水体中下层 (0.6H、0.8H、1.0H) 涨潮平均含沙量大于落潮; 大潮期, C₂ 点水体中下层 (0.6H、0.8H) 涨潮平均含沙量大于落潮, 水体中上层 (0.0H、0.2H、0.4H) 落潮平均含沙量大于涨潮, C₃ 点各水层均为落潮平均含沙量大于涨潮。从平面分布看, 航道外侧 C₂ 点涨潮平均含沙量整体大于 C₃ 点, 落潮规律不明显。

表 3 不同水层平均含沙量
Tab. 3 Average sediment concentration in different water layers

工况	含沙量/(kg·m ⁻³)							
	0.0H(表)	0.2H	0.4H	0.6H	0.8H	1.0H(底)	1.0H与0.0H的比值	
C ₁ X	落潮	0.21	0.37	0.70	1.02	1.38	2.06	9.92
	涨潮	0.17	0.41	0.75	0.94	1.52	1.83	10.63
C ₂ X	落潮	0.14	0.17	0.19	0.29	0.70	1.95	14.30
	涨潮	0.11	0.16	0.25	0.61	1.39	2.14	19.64
C ₃ X	落潮	0.17	0.19	0.22	0.27	0.24	0.17	1.04
	涨潮	0.13	0.12	0.20	0.51	1.00	1.43	11.10
C ₄ X	落潮	0.37	0.35	0.52	0.63	0.75	0.97	2.63
	涨潮	0.20	0.19	0.17	0.20	0.32	0.52	2.69
C ₁ D	落潮	0.84	1.15	1.54	1.80	2.01	2.21	2.64
	涨潮	0.68	1.14	1.61	1.95	2.23	2.38	3.50
C ₂ D	落潮	0.18	0.24	0.38	0.46	0.60	1.27	7.04
	涨潮	0.18	0.23	0.36	0.49	0.77	1.09	6.00
C ₃ D	落潮	0.20	0.27	0.36	0.64	0.87	1.20	6.04
	涨潮	0.13	0.13	0.35	0.45	0.57	1.06	8.01
C ₄ D	落潮	0.56	0.64	0.81	0.87	1.04	1.56	2.80
	涨潮	0.27	0.39	0.90	1.40	1.59	1.73	6.36

3.3 泥沙输运

图 8a) 为各垂线表层水体的悬沙单宽输沙率, 可以看到, 各垂线落潮单宽输沙率大都远大于涨潮, 即净输沙向口门外方向, 这与表层水体落潮

流速、含沙量均明显大于涨潮有关。

水体底层泥沙输运与海床地形变化直接相关, 图 8b) 为各垂线底层的悬沙单宽输沙率, 从输沙率值看, 底层单宽输沙率明显大于表层。航道口门

外侧 C_1 点单宽输沙率大于口门内的 $C_2 \sim C_4$ 点, 主要因为 C_1 点的流速和含沙量均较大, 落潮单宽输沙率大于涨潮, 大潮大于小潮。导堤内 C_2 、 C_3 点大小潮涨潮单宽输沙率均大于落潮, 即净输沙均由航道口门向港池方向, 从净输沙率看, 小潮期 C_2 、 C_3 点分别为 30.40、14.83 $t/(d \cdot m)$, 大潮期分别为 5.71、14.39 $t/(d \cdot m)$, 小潮期大于大潮, 尤其在 C_2 点。黄沙港口门处 C_4 点, 小潮期落潮单宽输沙大于涨潮, 大潮期相反, 从净输沙率看, 小潮期为 15.78 $t/(d \cdot m)$ 、大潮期为 7.69 $t/(d \cdot m)$, 小潮期大于大潮期。

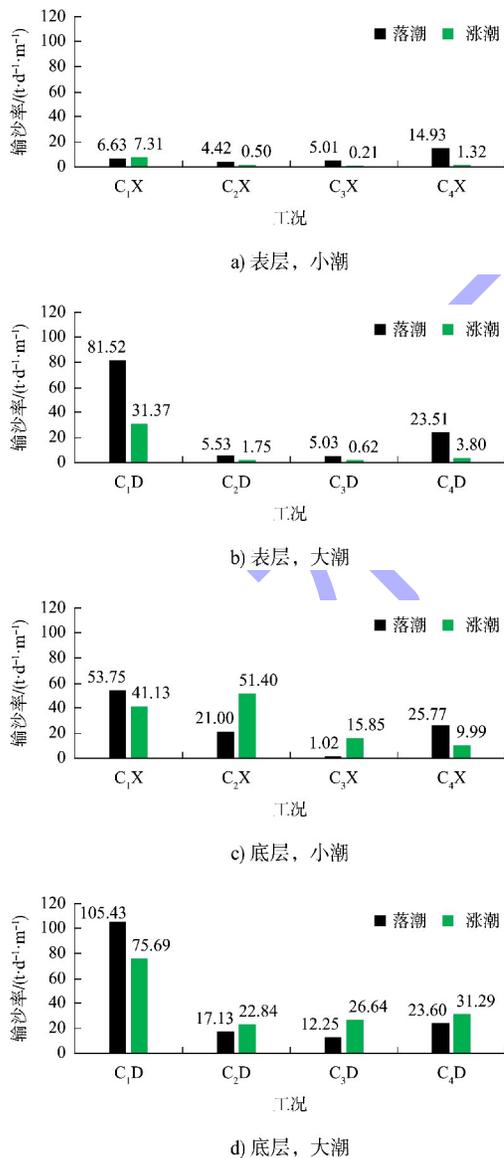


图8 各垂线单宽输沙率分布

Fig. 8 Distribution of single width sediment transport rate at each vertical line

3.4 分析与讨论

水文测验期间, 开展了各垂线的悬沙及表层沉积物的泥沙颗分, 悬沙中值粒径范围为 3.5~13.0 μm , 平均值为 6.2 μm , 悬沙以黏土质粉砂为主, 各水层悬沙粒径有差异, 但不明显。表层沉积物中值粒径范围为 6.4~10.9 μm , 平均值为 9.2 μm , 以粉砂为主。从悬沙和表层沉积物的泥沙属性看, 航道泥沙淤积主要为悬沙淤积。

航道回淤与水沙输运关系密切, 从前文分析知, 导堤内部的 C_2 、 C_3 点水体中下层涨潮流速总体大于落潮, 含沙量大小潮期间以涨潮大于落潮居多, 因此泥沙净输运方向为自航道口门向港池方向, 即外海泥沙为航道泥沙淤积提供了沙源。根据水文测验数据计算, 小潮期, C_2 、 C_3 点底层涨潮平均流速在 0.20~0.35 m/s 之间, 大潮期在 0.31~0.48 m/s 之间, 航道口门至港池的距离约为 6.5 km, 则小潮期底层水流自航道口门运动至港池约需 6.5 h, 大潮期约需 4.5 h, 泥沙随水流运动虽有一定的滞后性, 但一个潮周期内, 外海泥沙能够从航道口门输运至航道沿程直至港池, 从而造成航道港池的大量泥沙淤积。

4 结论

1) 射阳港航道口门外侧流速大于口门内。 C_1 、 C_4 点涨落急流速均表层大、底层小, 导堤内部 C_2 、 C_3 点落急流速表层大、底层小, 表层约为底层的 2 倍, 涨急流速 0.4H~0.8H 水层处较大, 表层最小。

2) 各垂线欧拉余流值表层大、底层小, C_1 点小潮期余流方向为落潮, 大潮期为涨潮, C_2 、 C_3 点中上层水体余流方向为落潮, 中下层水体为涨潮, C_4 点各水层余流方向均为落潮。

3) 航道口门外含沙量明显大于口门内, 各垂线均为表层含沙量小, 底层含沙量大。 C_2 点水体中上层落潮平均含沙量大于涨潮, 水体中下层涨潮大于落潮。 C_3 点小潮期含沙量规律与 C_2 点一

致,大潮期落潮平均含沙量大于涨潮。从平面分布看, C_2 点各水层涨潮平均含沙量整体大于 C_3 点。

4) C_2 、 C_3 点大小潮底层涨潮单宽输沙率均大于落潮,净输沙均由航道口门向港池方向,小潮期净输沙率大于大潮期。底层水流自航道口门运动至港池需 4.5~6.5 h,一个潮周期内,外海泥沙能够从航道口门输运至航道沿程直至港池,进而造成航道港池的泥沙淤积。

参考文献:

- [1] 栾加友,穆新武,孙浩.射阳港建设深水良港思路探索[J].中国港口,2014(12):28-29.
LUAN J Y, MU X W, SUN H. Exploration of ideas for building a deep-water port in Sheyang Port [J]. China ports, 2014(12): 28-29.
- [2] 袁文昊,刘红.江苏射阳港 3.5 万吨级进港航道回淤特征研究[J].水运工程,2022(1):112-118,139.
YUAN W H, LIU H. Back silting characteristics of 35,000 DWT navigation channel at Sheyang Port in Jiangsu Province [J]. Port & waterway engineering, 2022(1): 112-118, 139.
- [3] 刘强,张刚,项立辉,等.射阳港区双导堤建设前后冲淤变化及成因研究[J].海洋通报,2017,36(5):561-567.
LIU Q, ZHANG G, XIANG L H, et al. Characteristics and genesis of erosion and deposition in Sheyang Port before and after double-dyke construction [J]. Marine science bulletin, 2017, 36(5): 561-567.
- [4] 陈可锋,陆培东,王乃瑞.整治工程影响下的河口拦门沙航道回淤特征及成因:以射阳港航道为例[J].水科学进展,2017,28(2):240-248.
CHEN K F, LU P D, WANG N R. Study of back silting characteristics and mechanism of the channel-mouth bar under the influence of regulating project: a case study of the Sheyang Estuary [J]. Advances in water science, 2017, 28(2): 240-248.
- [5] 王崇贤,陈红军,胡昕.不同导堤高程下射阳港区进港航道的淤积变化[J].水运工程,2012(5):125-129.
WANG C X, CHEN H J, HU X. Variation of sediment deposition in approach channel of Sheyang port by different dyke top elevations [J]. Port & waterway engineering, 2012(5): 125-129.
- [6] 邵德钊.射阳港区 5 万吨级航道开发关键技术研究[C]//江苏省海洋湖沼学会.第五届江苏省海洋湖沼学会研究生论坛论文集. [出版地不详]: [出版者不详], 2017: 20.
SHAO D Z. Research on key technologies for the development of a 50,000-ton waterway in Sheyang port area [C]//Jiangsu Society of Oceanology and limnology. Proceedings of the 5th Jiangsu Society of Oceanology and limnology graduate forum. [s. l.]: [s. n.], 2017: 20.
- [7] 钱承君,石靖,陈志勇.盐城港高质量发展成效[J].中国港口,2022(8):23-26.
QIAN C J, SHI J, CHEN Z Y. High quality development achievements of Yancheng Port [J]. China ports, 2022(8): 23-26.
- [8] 刘加模,栾加友.射阳港潮汐与乘潮进港[J].海岸工程,2000(1):54-58.
LIU J M, LUAN J Y. Tide and enter port of tidal boat of Sheyang Port [J]. Coastal engineering, 2000(1): 54-58.
- [9] 汤倩,闫玉茹,王敏京,等.射阳港近岸海域沉积物特征及冲淤趋势[J].地质学刊,2021,45(3):283-289.
TANG Q, YAN Y R, WANG M J, et al. Study of sedimentary characteristics and the erosion and deposition trend in the nearshore of Sheyang Port [J]. Journal of geology, 2021, 45(3): 283-289.
- [10] 魏宝柱,罗小峰,路川藤.鸭绿江河口潮汐及水沙输运特征研究[J].水运工程,2024(6):24-31.
WEI B Z, LUO X F, LU C T. Tidal and water-sediment transport characteristics in Yalu River Estuary [J]. Port & waterway engineering, 2024(6): 24-31.

(本文编辑 王传瑜)